



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 33 684 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**H 02 H 3/28**  
H 02 H 7/26

②1 Aktenzeichen: 199 33 684.9  
②2 Anmeldetag: 17. 7. 1999  
④3 Offenlegungstag: 18. 1. 2001

⑦1 Anmelder:  
ABB Research Ltd., Zürich, CH

⑦4 Vertreter:  
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 79761  
Waldshut-Tiengen

⑦2 Erfinder:  
Benco, Joseph P., Germansville, Pa., US; Deck,  
Bernhard, 79809 Weilheim, DE; Kunsman, Steven  
A., Germansville, Pa., US

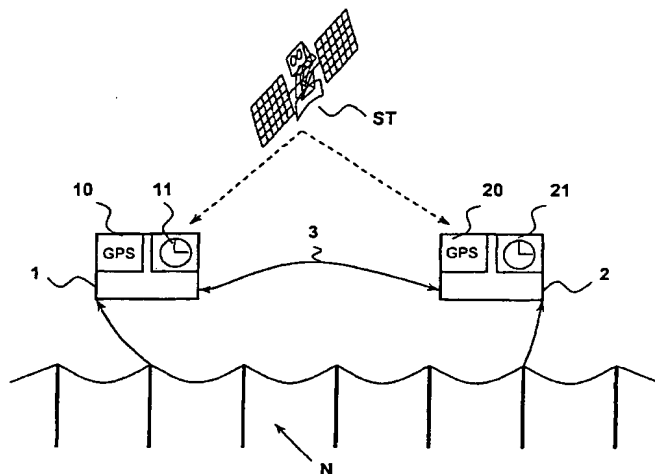
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 695 12 539 T2  
= EP 06 66 629 B1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Differentialschutzsystem für ein Hochspannungs- oder Starkstromnetz

⑤7 Ein Differentialschutzsystem für ein Hochspannungsnetz (N) weist mindestens zwei Schutzeinheiten (1, 2) auf, wobei jede Schutzeinheit (1, 2) Abtastmittel zur Abtastung eines Hochspannungs- oder Starkstromsignals, Synchronisationsmittel zur Synchronisation der Abtastung mit einer anderen Schutzeinheit und Übertragungsmittel zur Übermittlung von mit den abgetasteten Signalen korrelierenden Abtastwerten aufweist. Dabei umfasst das Mittel zur Synchronisation einen Global Positioning System (GPS)-Empfänger (10, 20) zur Erkennung eines vorbestimmten Zeitpunktes zum synchronen Start der Abtastung.



DE 199 33 684 A 1

DE 199 33 684 A 1

## Beschreibung

## Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Elektrotechnik. Sie bezieht sich auf ein Verfahren zur Detektion von Fehlern in einem Hochspannungs- oder Starkstromnetz gemäss Oberbegriff des Patentanspruches 1 und auf ein Differentialschutzsystem für ein derartiges Netz gemäss Oberbegriff des Patentanspruches 9.

## Stand der Technik

Hochspannungs- oder Starkstromnetze werden mittels Differentialschutzsysteme überwacht, um Kurzschlüsse oder anderweitige Fehlfunktionen zu detektieren. Dabei wird ein Hochspannungs- oder Starkstromsignal an zwei Stellen zeitgleich abgetastet, wobei die abgetasteten Werte paarweise miteinander verglichen werden. Normalerweise wird die Differenz der abgetasteten Werte gebildet. Ergibt die Differenz einen von Null abweichenden Wert, so liegt eine Störung des Netzes vor, und Massnahmen zur Behebung der Störung können getroffen werden.

Differentialschutzsysteme bekannter Art bestehen aus mehreren Schutzeinheiten, welche entlang einer Hochspannungs- oder Starkstromleitung im Abstand von 30–100 km angeordnet sind. Jede Schutzeinheit weist Abtastmittel zur Abtastung des Hochspannungs- oder Starkstromsignals, eine interne Uhr zur Bestimmung der Zeitspanne zwischen den einzelnen Abtastungen sowie Übertragungsmittel zur Übermittlung von mit den abgetasteten Signalen korrelierenden Daten. Jeweils zwei Schutzeinheiten sind zu einem Paar zusammengefasst, welche lokal, jedoch zeitgleich das Signal abtasten. Die zwei Schutzeinheiten eines Paares sind mittels einer Datenleitung miteinander verbunden, wobei jede Schutzeinheit Daten sowohl senden wie auch empfangen kann. Die Datenleitungen sind entweder öffentliche Telephonleitungen oder separate, entlang der Hochspannungs- oder Starkstromleitung verlaufende Datenleitungen, insbesondere Glasfaserleitungen.

Bei den bekannten Differentialschutzsystemen bildet eine erste Schutzeinheit eines Paares einen Master und eine zweite Schutzeinheit einen Slave. Zu welchem Zeitpunkt die synchrone Abtastung gestartet werden soll, wird vom Master bestimmt. Hierfür sendet der Master M, wie in Fig. 1 dargestellt ist, an den Slave S ein Echosignal 12, welches vom Slave umgehend in Form eines retournierten Echosignals 22 zurückgesendet wird. Die Zeitspanne  $2T$  zwischen Senden und Empfang wird vom Master mit seiner internen Uhr, der Masteruhr, gemessen. Der halbierte Messwert ergibt die benötigte Übermittlungszeit  $T$ . Nun übermittelt der Master ein Startsignal 13, um die synchrone Abtastung zu starten. Der Master selber wartet die gemessene Übermittlungszeit  $T$  ab, um seine eigene erste Abtastung A synchron mit der ersten Abtastung A' des Slaves zu beginnen. Der Zeitpunkt der nächsten Abtastung B, B' bestimmt jede Schutzeinheit selber aufgrund ihrer eigenen internen Uhr. Nach jeder Abtastung sendet jede Schutzeinheit das Ergebnis der Abtastung an die andere Schutzeinheit in Form eines Abtastwertes 14, 24. Jede Schutzeinheit bildet die Differenz zwischen den eigenen und den übermittelten Daten. Ist die Differenz ungleich Null beziehungsweise liegt sie ausserhalb eines Toleranzbereiches um Null, so schaltet sich aufgrund des Vorzeichens des erhaltenen Wertes entweder die erste oder die zweite Schutzeinheit ab. Dadurch lässt sich erkennen, wo der Fehler im Netz aufgetreten ist, so dass eine gezielte und schnelle Fehlerbehebung ermöglicht ist. Vor der Abschaltung wird je nachdem nochmals eine Abtast-

Synchronisation gestartet.

Die Differentialschutzsysteme gemäss dem Stand der Technik weisen eine aufwendige Technik auf, um eine möglichst synchrone Abtastung zu gewährleisten. Beispielsweise wird bei den heutigen Differentialschutzsystemen die interne Uhr des Slaves in regelmässigen Abständen an die Masteruhr angepasst, indem der Master seine Uhrzeit in Form eines Kontrollsignals an den Slave übermittelt, dieser einen Zeitvergleich durchführt und einen allfälligen Unterschied an seiner internen Uhr korrigiert.

Der Synchronisation sind jedoch trotzdem Grenzen gesetzt, vorallem bedingt durch die Art der Kommunikation zwischen Master und Slave. Werden nämlich öffentliche Telephonleitungen zur Übermittlung der Start- und Kontrollzeitsignale verwendet, so entsteht das Problem, dass die Signale nicht immer denselben Pfad benützen. Dadurch ist die zur Synchronisation verwendete Übermittlungszeit mit einem Fehler behaftet. Eine öffentliche Datenleitung lässt sich zwar durch eine unabhängige Datenleitung ersetzen. Diese Massnahme ist jedoch relativ teuer und behebt zudem ein weiteres Problem der deterministischen Kommunikation nicht. Der Slave weist nämlich bei der Rücksendung des Echosignals eine Verzögerung auf, deren Zeitdauer nicht bekannt ist, so dass die Übermittlungszeit weiterhin fehlerbehaftet ist.

## Darstellung der Erfindung

Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Detektion von Fehlern in einem Hochspannungs- oder Starkstromnetz sowie ein Differentialschutzsystem für ein derartiges Netz zu schaffen, welche eine verbesserte Synchronisation aufweisen.

Diese Aufgabe löst ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 sowie ein Differentialschutzsystem mit den Merkmalen des Patentanspruches 9.

Erfindungsgemäss erfolgt die Synchronisation mittels einem Global Positioning System (GPS), dank welchem jede Schutzeinheit des Differentialschutzsystems dieselbe, von GPS-Satelliten übermittelte Uhrzeit empfängt und zu demselben vordefinierten Zeitpunkt mit einer Abtastung des Hochspannungs- oder Starkstromsignals beginnt. Die Synchronisation der Abtastung ist somit unabhängig von Datenleitungen.

Da keine hohen Anforderungen an Datenleitungen mehr gestellt werden, lassen sich für die Übermittlung von Abtastwerten öffentliche und/oder kostengünstige Übermittlungsarten wählen.

Vorteilhaft ist ferner, dass sich die Schutzeinheiten in einem grösseren Abstand voneinander anordnen lassen, da Übermittlungszeiten zwischen den Schutzeinheiten keine kritischen Grössen mehr darstellen. Dank GPS ist zudem ein Differentialschutzsystem geschaffen, welches nicht von lokalen Zeiten abhängig ist und sich somit weltweit, beispielsweise über verschiedene Zeitzonen, einsetzen lässt.

Ein weiterer Vorteil ist, dass Schutzeinheiten nicht nur paarweise Abtastwerte austauschen können, sondern dass mehrere Schutzeinheiten miteinander synchronisierbar sind. Es lassen sich zudem auch Nebenleitungen gemeinsam mit Hauptleitungen eines Netzes überwachen. Mehrpunktleitungen lassen sich somit mit einer einzigen Abtastsynchronisation kontrollieren. In einer bevorzugten Ausführungsform ist eine zentrale Steuereinheit vorhanden, mit welcher die einzelnen Schutzeinheiten kommunizieren. Die Überwachung eines Netzes lässt sich somit flächendeckender gestalten und gesamtheitlich verbessern. Insbesondere werden Mehrfachabschaltungen vermieden. Derartige Mehrfachabschaltungen, bei welchen eine Schutzeinheit nach der ande-

ren abschaltet, führen bei den Differentialschutzsystemen gemäss dem Stand der Technik dazu, dass sich der ursprüngliche Fehler im Netz nicht mehr lokalisieren lässt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform verfügen die Schutzeinheiten über interne Uhren zur Erkennung von nachfolgenden Abtastzeitpunkten. Dadurch ist der Betrieb des Differentialschutzsystems auch bei zeitweiligem Ausfall des GPS gewährleistet.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen gehen aus den abhängigen Patentansprüchen hervor.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Im folgenden wird das erfindungsgemässe Verfahren und der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Kommunikation zwischen zwei Schutzeinheiten gemäss dem Stand der Technik;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Hochspannungsleitung mit einem erfindungsgemässen Differentialschutzsystem in einer ersten Ausführungsform;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Kommunikation zwischen zwei Schutzeinheiten gemäss Fig. 2;

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Differentialschutzsystems in einer zweiten Ausführungsform;

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Kommunikation zwischen zwei Schutzeinheiten gemäss Fig. 4 und

Fig. 6 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Differentialschutzsystems in einer dritten Ausführungsform.

#### Wege zur Ausführung der Erfindung

In Fig. 2 ist schematisch eine Leitung N eines Hochspannungs- oder Starkstromnetzes mit einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemässen Differentialschutzsystems dargestellt. Das Differentialschutzsystem umfasst mindestens zwei Schutzeinheiten, welche beabstandet zueinander entlang der Hochspannungs- oder Starkstromleitung N angeordnet sind. In Fig. 1 ist lediglich eine erste und eine zweite Schutzeinheit 1, 2 dargestellt. Mindestens jeweils zwei Schutzeinheiten 1, 2 sind über eine Datenleitung 3 miteinander verbunden. Als Datenleitungen 3 lassen sich öffentliche Kommunikationsleitungen, beispielsweise Telefon- oder Internetleitungen, verwenden. Andere Kommunikationsmittel, beispielsweise drahtlose wie Funk, lassen sich jedoch auch einsetzen.

Die Schutzeinheiten 1, 2 weisen Abtastmittel zur Abtastung eines Hochspannungs- oder Starkstromsignals und Übertragungsmittel zur Übermittlung von den abgetasteten Signalen entsprechenden Abtastwerten auf. Diese Mittel sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden im folgenden nicht näher erläutert. Ferner verfügt jede Schutzeinheit 1, 2 über Mittel zur Synchronisation der Abtastung mit mindestens einer anderen Schutzeinheit. Erfindungsgemäss umfasst dieses Synchronisationsmittel einen GPS-Empfänger 10, 20, welcher mit GPS-Satelliten ST in Verbindung steht. In der hier dargestellten bevorzugten Ausführungsform verfügt jede Schutzeinheit 1, 2 ferner über eine interne Uhr 11, 21, beispielsweise einen Echtzeitzähler. Die interne Uhrzeit jeder Uhr 11, 21 lässt sich anhand einer Echt-Uhrzeit, welche über den GPS-Empfänger 10, 20 erhalten wird, korrigieren. Die Korrektur erfolgt über entsprechende, in der Schutzeinheit 1, 2 integrierte Mittel zur Anpassung, beispielsweise mittels eines in der Schutzeinheit 1, 2 integrier-

ten sogenannten Binary Rate Multipliers.

Anhand der Fig. 3 lässt sich die Funktionsweise des erfindungsgemässen Differentialschutzsystems gemäss Fig. 2 näher erläutern:

Die erste Schutzeinheit 1 übermittelt an die zweite Schutzeinheit 2 ein Definitionssignal 15, wodurch ein Zeitpunkt für den Start einer ersten Abtastung definiert wird. Nun warten beide Schutzeinheiten 1, 2, bis vom GPS-Satellit ST das Eintreten dieses Zeitpunktes an die GPS-Empfänger 10, 20 gemeldet wird, was in Fig. 3 mit gestrichelten Pfeilen dargestellt ist. Jede Schutzeinrichtung 1, 2 startet nun den Abtastungsvorgang, wobei der Startzeitpunkt bei beiden Schutzeinrichtungen identisch ist. Die Abtastung erfolgt an diskreten Abtastzeitpunkten, welche für die erste Schutzeinrichtung 1 mit A, B und für die zweite Schutzeinrichtung 2 mit A', B' bezeichnet sind. Nach jeweils durchgeführter Abtastung wird ein dem Abtastwert entsprechendes Datensignal 14, 24 an die jeweilige benachbarte Schutzeinrichtung 1, 2 über die Datenleitung 3 gesandt. Die Zeitpunkte für die nachfolgenden Abtastpunkte lassen sich jeweils wiederum neu vom GPS übermitteln. In der hier dargestellten Variante werden für die Bestimmung dieser Zeitpunkte die internen Uhren 11, 21 eingesetzt, wobei diese wie oben beschrieben sporadisch an die Echtzeit des GPS angepasst werden.

In Fig. 4 ist eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemässen Differentialschutzsystems dargestellt. Jeweils zwei Schutzeinheiten 1, 2 sind wiederum zu einem Paar zusammengefasst, welche miteinander in kommunizierender Verbindung stehen. Zudem ist eine zentrale Steuereinheit 4 vorhanden, welche ebenfalls mit jeder Schutzeinheit 1, 2 verbunden ist, mindestens indem die Schutzeinheiten 1, 2 Nachrichten der zentralen Steuereinheit 4 empfangen. Die Synchronisation in diesem Schutzsystems erfolgt ebenfalls über GPS, das Definitionssignal 15 für den Start der Abtastung wird jedoch, wie in Fig. 5 dargestellt, von der zentralen Steuereinheit 4 an die einzelnen Schutzeinheiten 1, 2 übermittelt.

In Fig. 6 ist eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemässen Differentialschutzsystems dargestellt. Es ist wiederum eine zentrale Steuereinheit 4 vorhanden, welche mit mindestens zwei, vorzugsweise mit N Schutzeinheiten 1, 2, 5 kommunizierend verbunden ist. N ist dabei vorzugsweise grösser als drei. Als Kommunikationsmittel lassen sich wiederum bekannte Datenleitungen 3 einsetzen. In diesem Differentialschutzsystem sind mehrere Schutzeinheiten 1, 2, 5 miteinander synchronisiert. Die Daten werden deshalb zwecks Auswertung direkt an die zentrale Steuereinheit 4 übermittelt, welche bei Detektion eines Fehlers veranlasst, dass die entsprechende Schutzeinheit beziehungsweise das Netz abgeschaltet wird.

Dank GPS ist es möglich, ein unkompliziertes Differentialschutzsystem zu schaffen, welches ein hohes Mass an Synchronisation aufweist sowie eine umfassendere Fehlererkennung in einem Hochspannungs- oder Starkstromnetz ermöglicht.

#### Bezugszeichenliste

ST GPS-Satellit  
N Hochspannungs- oder Starkstromleitung  
M Master  
S Slave  
T Übermittlungszeit  
A erster Abtastpunkt der ersten Schutzeinheit  
A' erster Abtastpunkt der zweiten Schutzeinheit  
B zweiter Abtastpunkt der ersten Schutzeinheit  
B' zweiter Abtastpunkt der zweiten Schutzeinheit  
1 erste Schutzeinheit

- 10 erster GPS-Empfänger
- 11 erste interne Uhr
- 12 gesendetes Echosignal
- 13 Startsignal
- 14 Abtastwert der ersten Schutzseinheit
- 15 Definitionssignal
- 2 zweite Schutzseinheit
- 20 zweiter GPS-Empfänger
- 21 zweite interne Uhr
- 22 retourniertes Echosignal
- 24 Abtastwert der zweiten Schutzseinheit
- 3 Datenleitung
- 4 zentrale Steuereinheit
- 5 weitere Schutzseinheiten

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion von Fehlern in einem Hochspannungs- oder Starkstromnetz, wobei mittels zwei Schutzseinheiten (1, 2) synchron an zwei örtlich voneinander getrennten Stellen ein Hochspannungs- oder Starkstromsignal abgetastet und die abgetasteten Signale miteinander verglichen werden, wobei bei einer nicht mindestens annähernder Übereinstimmung der Signale ein Vorliegen eines Fehlers detektiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzseinheiten (1, 2) mit dem Abtastungsvorgang an einem vordefinierten Zeitpunkt (A, A') beginnen, dessen Eintreten sie mittels eines in je einer Schutzseinheit (1, 2) integrierten Global Positioning System (GPS)-Empfängers (10, 20) erfahren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Definition des Zeitpunktes für den Start der Abtastung ein Definitionssignal (15) von einer ersten Schutzseinheit (1) an eine zweite Schutzseinheit (2) gemeldet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Definition des Zeitpunktes für den Start der Abtastung ein Definitionssignal (15) von einer zentralen Steuereinheit (4) an die Schutzseinheiten (1, 2) gemeldet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzseinheiten (1, 2) intern die Zeit messen, wobei ihre interne Uhrzeit mit einer vom GPS erhaltenen Echt-Uhrzeit verglichen und bei Abweichung die interne Uhrzeit an die Echt-Uhrzeit angepasst wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass den abgetasteten Signalen entsprechende Abtastwerte an eine zentrale Steuereinheit (4) übermittelt werden, dort mit Daten von anderen Schutzseinheiten verglichen und bei Abweichung der Ort des Fehlers festgestellt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede Schutzseinheit (1, 2) mit den abgetasteten Signalen entsprechende Abtastwerte (14, 24) an eine benachbarte Schutzseinheit (1, 2) meldet, dass jede Schutzseinheit (1, 2) eine Differenz der empfangenen Daten mit ihren eigenen Daten bildet und dass bei einer nicht mindestens annähernder Übereinstimmung der Signale eine der zwei Schutzseinheiten (1, 2) nach Massgabe eines Vorzeichens Massnahmen zur Behebung des Fehlers trifft.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Übermittlung von Abtastwerten über öffentliche Datenleitungen (3), insbesondere Telephon- oder Internetleitungen, erfolgt.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abtastwerte einer Schutzseinheit (1, 2, 5)

mit Abtastwerten von mindestens zwei anderen Schutzseinheiten (1, 2, 5) verglichen werden.

9. Differentialschutzsystem für ein Hochspannungsnetz mit mindestens zwei Schutzseinheiten (1, 2), wobei jede Schutzseinheit (1, 2) Abtastmittel zur Abtastung eines Hochspannungs- oder Starkstromsignals, Synchronisationsmittel zur Synchronisation der Abtastung mit einer anderen Schutzseinheit (1, 2) und Übertragungsmittel zur Übermittlung von mit den abgetasteten Signalen korrelierenden Abtastwerten aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel zur Synchronisation ein Global Positioning System (GPS) – Empfänger (10, 20) umfasst zur Erkennung eines vorbestimmten Zeitpunktes zum synchronen Start des Abtastvorganges.

10. Differentialschutzsystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine zentrale Steuereinheit (4) vorhanden ist, welche Mittel zur Übermittlung eines Definitionssignals (15) zur Definition des vorbestimmten Zeitpunktes für den Start der Abtastung an die Schutzseinheiten (1, 2) aufweist.

11. Differentialschutzsystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens drei Schutzseinheiten (1, 2, 5) über eine direkte Kommunikationsleitung oder über eine zentrale Steuereinheit (4) miteinander verbunden sind.

12. Differentialschutzsystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass jede Schutzseinheit (1, 2) eine interne Uhr mit einer internen Uhrzeit und Mittel zur Anpassung der internen Uhrzeit an eine vom GPS erhaltenen Echt-Uhrzeit aufweist.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

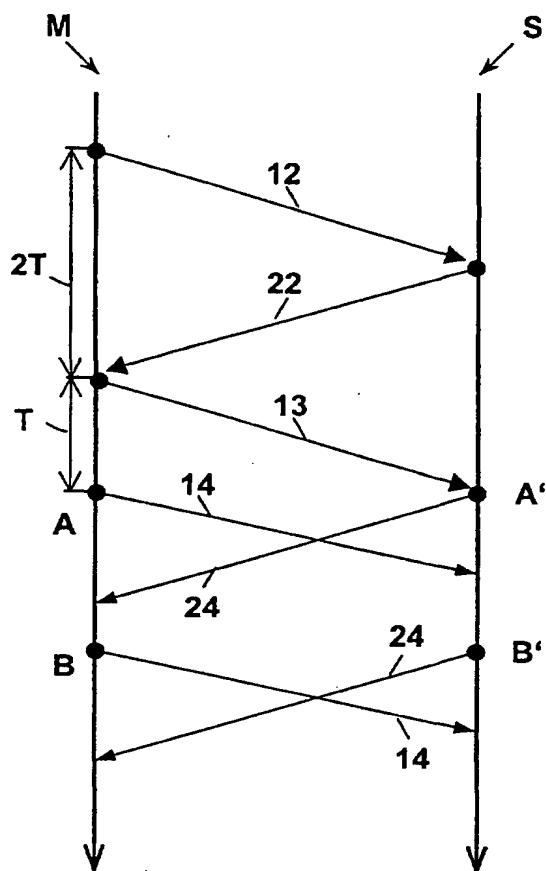


Fig. 1

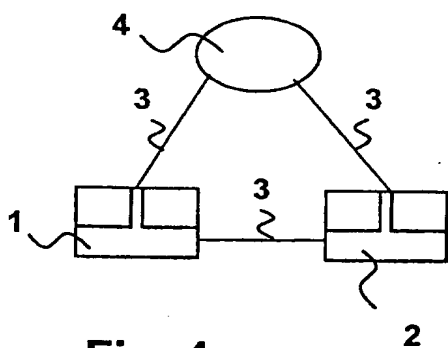


Fig. 4

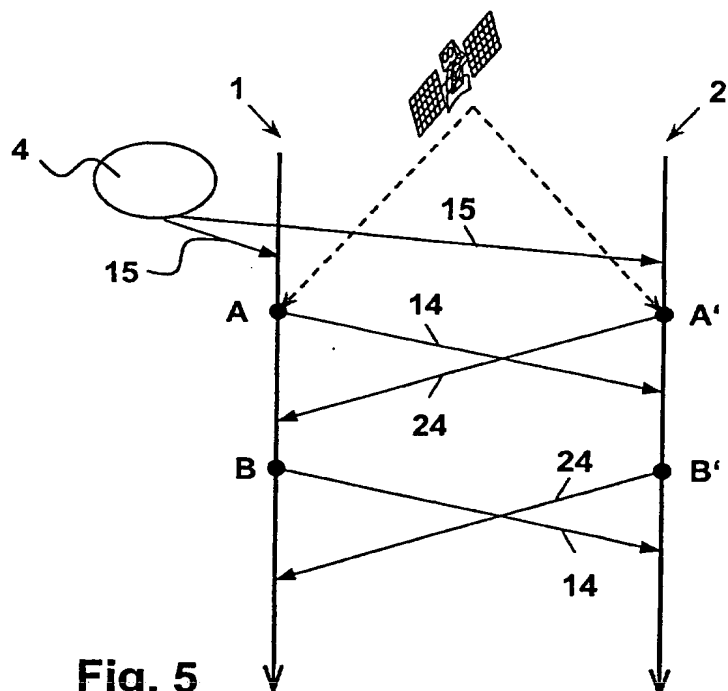


Fig. 5

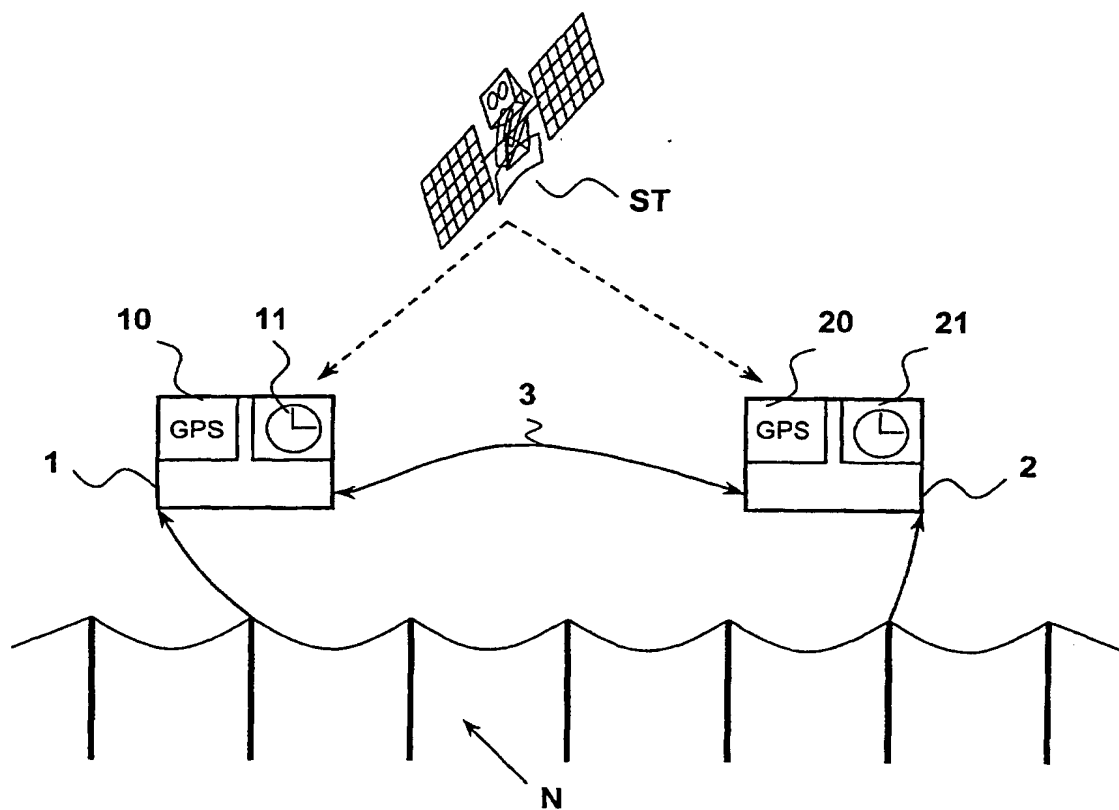


Fig. 2

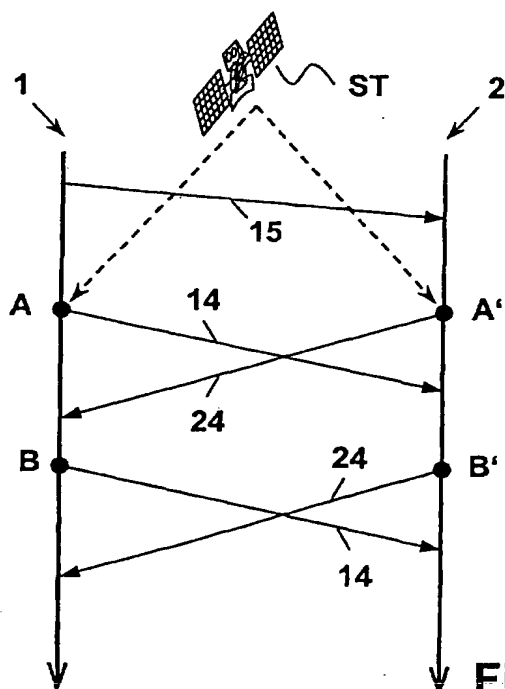


Fig. 3

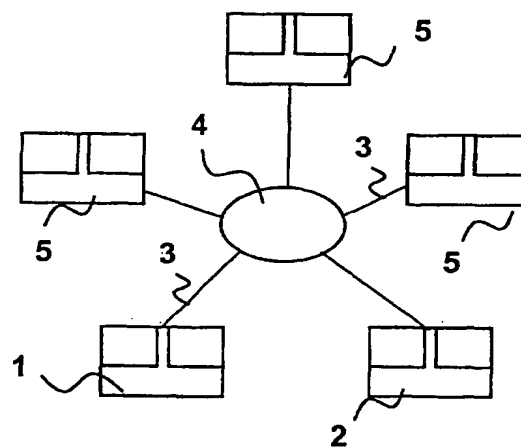


Fig. 6